Roentgeninstitut der Universität Bern
Direktor Prof. Dr. Ad. Liechti

Weitere strahlenbiologische Versuche mit Vicia faba equina

unter spezieller Berücksichtigung des Zeitfaktors

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der
Universität Bern

vorgelegt von

Karl Dölken
aus Thun (Kt. Bern)

Buchdruckerei G. Aeschlimann, Thun
1941

Roentgeninstitut der Universität Bern
Direktor Prof. Dr. Ad. Liechti

Weitere strahlenbiologische Versuche mit Vicia faba equina

unter spezieller Berücksichtigung des Zeitfaktors

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der
Universität Bern

vorgelegt von

Karl Dölken
aus Thun (Kt. Bern)

Buchdruckerei G. Aeschlimann, Thun
1941

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. Ad. Liechti von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 16. Juli 1941

Der Dekan der medizinischen Fakultät:
sig. Bluntschli.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547622_0086

Weitere strahlenbiologische Versuche mit Vicia faba equina

unter spezieller Berücksichtigung des Zeitfaktors

I. Einleitung

Die Beziehungen zwischen Strahlendosis und Dosiswirkung sind am biologischen Objekte nicht eindeutig. Sie sind nämlich abhängig sowohl von biologischen als auch von physikalischen Faktoren. An den biologischen Tatsachen seien besonders hervorgehoben die ungleiche Empfindlichkeit und die ungleiche Reaktionsweise der Objekte. Physikalische Faktoren sind die Strahlenqualität, die räumliche und die zeitliche Dosisverteilung.

Anorganisch ist die Menge der umgesetzten Moleküle in weiten Grenzen dem Produkt aus Intensität und Bestrahlungszeit proportional, unabhängig von der Intensität. An der lebenden Zelle hat dies keine unumschränkte Gültigkeit, denn hier muß die Bestrahlung als ein Reiz aufgefaßt werden, der so beantwortet wird, daß der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt werden möchte. Dadurch ändert sich der Zustand der Strahlenempfindlichkeit.

Es sind bei der zeitlichen Dosisverteilung zwei Fälle zu unterscheiden: Protrahierung und Fraktionierung. In unsern nachfolgenden Versuchen ist besonders die P r o t r a h i e r u n g Gegenstand der Betrachtungen.

Bekanntlich wurden zur Abklärung der verschiedenen interessierenden Beziehungen im Laufe der Jahre mannigfache Versuchsobjekte herangezogen. Bei der Verschiedenheit der biologischen Reaktionsweise ist diese Vielzahl der Versuchsobjekte unerläßlich, um die Resultate zu Gunsten einer rationellen humanen Therapie auswerten zu dürfen.

Wenn wir sehen, daß strahlenbiologische Versuche, zum Beispiel an der Haut, mit mannigfachen Schwierigkeiten zu rechnen haben, wie individuelle Schwankung, individuelle Haut-Vorfärbung, also uneinheitlicher Abstufung der Erythemstärke, Störungen durch zusätzliche Faktoren usw., so verstehen wir, daß man einfachere Testobjekte suchte und sie auch in der Kleintier- und Pflanzenwelt fand. Es bietet sich hier zugleich der Vorteil, Objekte zu wählen, deren Lebensprozesse sehr lebhaft sind, das heißt, die viele, relativ wenig differenzierte Zellen enthalten, mit

großer Mitosenzahl. Diese regen Lebensbedingungen sind von großem Interesse bei der Untersuchung der biologischen Strahlenwirkung.

Von R. Glocker, A. Reuß, O. Jüngling, H. Iven (4, 5, 6) u. a. wurden als Testobjekt die Samen bezw. Keimlinge von **Vicia faba equina** herangezogen.

In Anlehnung an strahlenbiologische Versuche, die am Röntgeninstitut der Universität Bern 1940 von A. Salzmann (7), und J. Arnold (8) mit Vicia faba equina durchgeführt wurden, wählten auch wir dieses Testobjekt für unsere Versuche. Sie erfüllen nämlich weitgehend alle Anforderungen, die nach H. Holthusen (1) an ein Testobjekt zu stellen sind:

1. Die Reaktion des Objektes ist der Messung leicht zugänglich, indem durch die dünne Glaswand des Wachstumsgefäßes hindurch die Zunahme der Wurzellänge leicht täglich bestimmt werden kann. Um die Variabilität des Wachstums der Bohnen in angemessenen Grenzen zu halten, wurde eine ausreichend große Zahl von Bohnen berücksichtigt und ein Durchschnittswert ermittelt.
2. Gleichmäßiger Primärzustand des Ausgangsmaterials wurde durch weitgehende Auslese erreicht.
3. Die nötige Empfindlichkeit gegenüber der Strahlung ist durch frühere Versuche erwiesen und in den regen Lebensbedingungen, die sich in der keimenden Wurzelspitze abspielen, begründet. Durch die günstige Placierungsmöglichkeit des Objektes in den Strahlenbereich ist es ferner möglich, auch den physikalischen Faktoren weitgehend Rechnung zu tragen.
4. Das Objekt läßt sich leicht in beliebiger Zahl beschaffen und das Arbeiten damit ist relativ einfach.
   Näheres über die Realisierung dieser Vorbedingungen findet sich weiter unten im Abschnitt über Methodik.

II. Methodik

Mit kleinen Aenderungen halten wir uns an die von R. Glocker, E. Hayer, O. Jüngling (5) angegebene Methode. Um die in der Einleitung erwähnten biologischen Faktoren, die die Beziehungen zwischen Dosis und Dosiswirkung stören und die in der Bohne selbst gelegenen störenden Faktoren nach Möglichkeit auszuschalten, müssen wir möglichst gleiches Ausgangsmaterial auswählen und für alle überhaupt verwendeten Bohnen gleiche Wachstumsbedingungen schaffen. Es werden zu diesem Zwecke Samen mittlerer Größe, frei von parasitärer oder mechanischer Schädigung ausgelesen. Es wurden je Einzelversuch 250 ausgelesene Samen, frei von jeder sichtbaren Schädigung oder

Abnormität in Leitungswasser 24 Stunden vorgequollen. Hierauf kamen die gequollenen Samen flach auf möglichst lockeres Sägemehl, das vorher sterilisiert wurde und das so angefeuchtet war, daß es beim Auspressen eben zu tropfen begann, zu liegen. Es empfiehlt sich erfahrungsgemäß, am zweiten Tag dort, wo das Aussprossen der Wurzel gerade beginnt, mit einem Glasstab in das Sägemehl vorzustechen und so dem Keimling ungehemmtes Wachstum zu gewährleisten.

Die Bohnen wurden mit 3 Lagen feuchtem Filtrierpapier, das nach dem ersten und zweiten Tage jeweils frisch angefeuchtet wurde, zugedeckt. Darüber kam als Abschluß eine Lage Packpapier.

Die so abgefüllten Saatschalen kamen in einen dunklen Raum zu stehen, bei ziemlich konstanter Temperatur von 22° C.

Von diesen über drei Tage vorgekeimten Bohnen wurde nun zum eigentlichen Versuche die nötige Anzahl ausgelesen. Die Auslese wurde durchgeführt nach der Länge der gesproßten Wurzel. Es wurden nur Keimlinge verwendet, deren Wurzellänge innerhalb einer 50%-Streuung lag, d. h. für unsere Versuche: Deren Länge durfte nicht kleiner als 15 mm und nicht größer als 30 mm sein. Meistens konnten diese Grenzen auf 18 bezw. 28 mm reduziert werden.

Wenn zum Keimen 250 Bohnen angesetzt wurden, so geschah dies aus Sicherheitsgründen, um zum Hauptversuche eine genügende Auslese treffen zu können. Zu diesem benötigten wir nur ca. einen Drittel, nämlich 84 Bohnen.

Davon dienten 12 Stück als Kontrollpflanzen und wurden nicht bestrahlt. Die übrigen 72 Stück wurden eingeteilt in 6 Portionen à 12 Stück und mit verschiedenen Dosen bestrahlt. Kreisförmig, mit der Wurzel konzentrisch gegen das Strahlenbündel angeordnet, wurden je 12 Stück in feuchtes Sägemehl auf einen mit Cellophan bespannten Stickrahmen gebettet. In dieser Weise wurden sie bei stets konstantem Abstand den Röntgenstrahlen ausgesetzt.

Nach der Bestrahlung wurden die Keimlinge in Glascüvetten verpflanzt, die mit feuchtem, sterilisiertem Sägemehl ausgefüllt waren. Zwischen Sägemehl und Glaswand befand sich weißes Filtrierpapier. An sechs symmetrischen Stellen wurde zwischen Filtrierpapier und Glaswand ein Glasstab hinabgesteckt, um der Wurzel den nötigen Wachstumsraum freizuhalten. Die Keimlinge wurden wieder mit feuchtem Sägemehl in einer Schichtdicke von ca. 3 cm zugedeckt.

So eingepflanzt, standen die Bohnen (je 6 Stück pro Glascüvette) in einem Raum, der taghell, aber nicht direktem Sonnenlicht ausgesetzt war. Jeden zweiten Tag wurde die Sägemehlschicht mit Leitungswasser etwas besprengt.

Mit Rücksicht auf die von Jüngling und Langendorff (Str. Th. 38 1930 S. I.) beobachtete tages-periodische Schwan-

kung der Mitosenzahl, wurden bei den Versuchen die Bestrahlungen immer zur gleichen Zeit durchgeführt. (11.30.)

Wie schon oben erwähnt, wurde eine angemessene Zahl von Bohnen bestrahlt, um einen guten Durchschnittswert zu erhalten, und um die Fehlergrenze möglichst herabzusetzen. Jeder einzelne Durchschnittswert entspricht einem Mittel aus ca. 100 Bohnen.

Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

I. Serie: 9 mal 12 unbestrahlte Kontrollen
+ 9 Bestrahlungen à 12 Stück mit je 5, 10, 20, 50, 100, 150 r bei einer Intensität von 2 r/min.

II. Serie: 8 mal 12 unbestrahlte Kontrollen
+ 8 Bestrahlungen à 12 Stück mit je 5, 10, 20, 50, 100, 150 r bei einer Intensität von 45 r/min.

III. Serie: 8 mal 12 unbestrahlte Kontrollen
+ 8 Bestrahlungen à 12 Stück mit je 5, 10, 20 r bei einer Intensität von 2 r/min.

Diese letztere Serie III wurde aus technischen Gründen mit einer andern Varietät der Spezies Vicia faba equina durchgeführt, nämlich mit der Handelssorte „Windsor Gruen", während die Serien I und II mit der Handelssorte „Sevilla" durchgeführt wurden. Es ergibt sich daraus die Möglichkeit einer Kontrolle über den Einfluß, den die Varietät ausüben könnte.

Zu den Bestrahlungen wurde eine Therapie-Röhre verwendet mit weicher Strahlung (85 KV, 4 mA, ohne Filter). Die Kontrolle über die angewendete Intensität von 2 r/min. bezw. 45 r/min. wurde streng gehandhabt mit einem Momentan-Dosimeter, das während der ganzen Bestrahlungszeit mitlief.

Die Bestrahlungszeit wurde unter Stoppuhrkontrolle streng innegehalten. Ihre Größe ist für die beiden angewendeten Intensitäten bei gleichen Dosen vergleichsweise im folgenden wiedergegeben:

	5 r	10 r	20 r	50 r	100 r	150 r
2 r/min:	2'30"	5'	10'	25'	50'	75'
45 r/min:	6,7"	13,4"	26,7"	1'6,7"	2'13,5"	3'20"

III. Resultate

Um das reichliche Zahlenmaterial in übersichtliche Form zu bringen, wählten wir die Tabellenform. Der Zahleninhalt einer Tabelle wurde dann zur Veranschaulichung graphisch dargestellt.

Zu jedem täglichen Wurzelwachstum (ein Durchschnitt aus 9 mal 12 Keimlingen) wurde der Fehler berechnet nach der Formel von

Gauß: Mittlerer Fehler $= \pm \sqrt{\frac{\frac{\Sigma \Delta^2}{n-1}}{n}}$

Δ : Differenz des Einzelwertes z. Mittelwert
n : Zahl der Messungen

Der mittlere Fehler beträgt für Serien I und II durchschnittlich $\pm$ 0,19 mm.

Das Längenwachstum bestrahlter Pflanzen wurde in Beziehung gebracht zum Längenwachstum unbestrahlter Pflanzen, wobei letzteres gleich 1,00 gesetzt wurde. Dadurch kommt die Dosiswirkung besser zum Ausdruck.

Das Sprossen der Seitenwurzeln wurde wie erwähnt pro Tag und pro Seitenwurzel je Pflanze (Durchschnitt) betrachtet. Hier wurde die Seitenwurzelzahl der unbestrahlten Kontrollen = 100% gesetzt und das Sprossen von Seitenwurzeln bei bestrahlten Pflanzen in % ausgedrückt. Es folgen nun zahlenmäßig die Resultate in den Tabellen I—IV mit zugehörigen Kurven und Diskussion.

Uebersicht über die Resultate der I. Versuchsreihe

9 Bestrahlungen von je 12 Bohnen mit 5, 10, 20, 50, 100, 150 r plus 9 mal 12 unbestrahlte Kontrollen.

Intensität: 2 r/min.

Tabelle I

Eingetragen ist das tägliche durchschnittl. Wurzelwachstum

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
K	16,7 ±0,15	15,9 ±0,18	15,5 ±0,10	15,2 ±0,21	14,8 ±0,16	14,2 ±0,21	13,2 ±0,23
5 r	17,4 ±0,32	16,7 ±0,26	16,4 ±0,24	16,3 ±0,16	16,1 ±0,16	15,4 ±0,16	14,0 ±0,26
10 r	16,8 ±0,16	15,2 ±0,16	14,7 ±0,18	14,5 ±0,15	14,2 ±0.14	13,9 ±0,22	13,2 ±0,18
20 r	16,3 ±0,21	14,8 ±0,15	14,0 ±0,12	13,6 ±0,20	13,4 ±0,10	13,2 ±0,23	12,8 ±0,15
50 r	15,1 ±0,15	13,5 ±0,17	11,8 ±0,12	11,0 ±0,11	10,7 ±0,11	10,7 ±0,15	10,8 ±0,16
100 r	13,4 ±0,23	10,6 ±0,16	8,5 ±0,17	7,4 ±0,14	7,2 ±0,14	7,0 ±0,10	7,4 ±0,23
150 r	11,8 ±0,39	9,1 ±0,20	6,5 ±0,17	4,7 ±0,17	3,8 ±0,12	3,7 ±0,12	4,2 ±0,11

Graphische Darstellung s. Kurve I.

I.

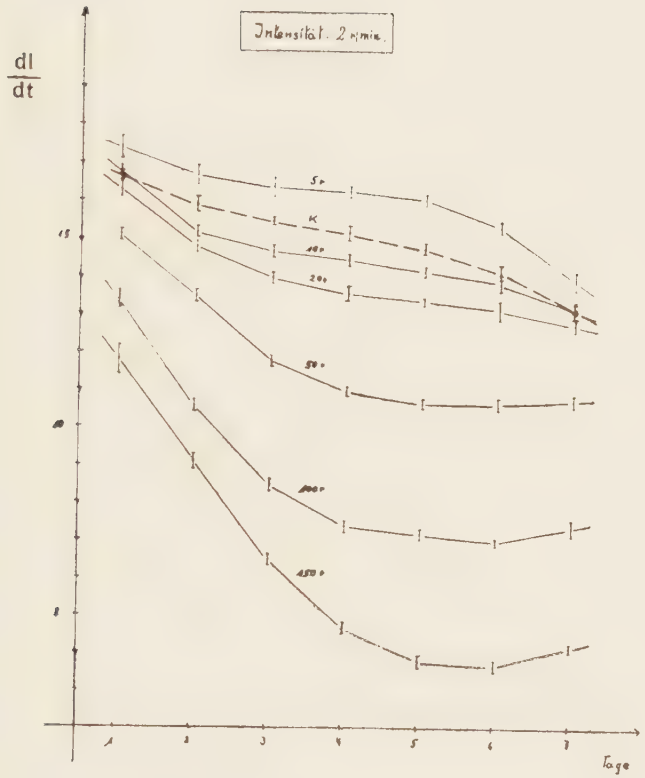


Tabelle Ia

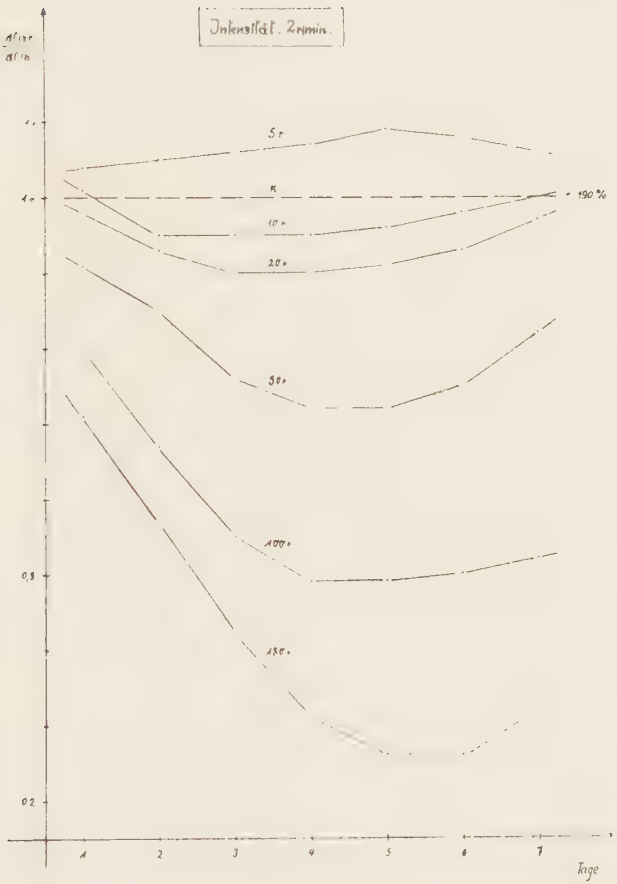
Eingetragen ist das Verhältnis des Tageswachstums bestrahlter Bohnen zu unbestrahlten Kontrollen.

(dh. Kontrollen = 1,00)

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5 r	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,08	1,06
10 r	1,01	0,95	0,95	0,95	0,96	0,98	1,00
20 r	0,98	0,93	0,90	0,90	0,91	0,93	0,97
50 r	0,91	0,85	0,76	0,72	0,72	0,75	0,82
100 r	0,80	0,67	0,55	0,49	0,49	0,50	0,52
150 r	0,71	0,75	0,42	0,31	0,26	0,26	0,32

Graphische Darstellung s. Kurve Ia

Ia.


Inkubiert 2 min.
5 r
K
190 %
10 r
20 r
50 r
100 r
150 r
1,0
0,5
0,2
1
2
3
4
5
6
7
Tage

IV. Diskussion der Resultate der I. Serie
2 r/min.

5 r: Die graphische Darstellung der Dosiswirkung zeigt ein Kurvenbild, das die Form eines stark abgeflachten, liegenden S hat. Es ist daraus zu entnehmen, daß die Wirkung zu Beginn und zu Ende der Beobachtungszeit stärker abnimmt, als im mittleren Zeitabschnitt. Sie liegt in ihrem ganzen Bereiche deutlich über derjenigen der Kontrollpflanzen.
Die Reizwirkung ist schon am 1. Tag deutlich, nämlich 4%. (Die %-Zahl ist leicht ersichtlich aus der Tabelle Ia bezw. aus der Kurve Ia.) Sie nimmt langsam noch zu bis zum 5. Tage. Hier beträgt sie ca. 10% gegenüber der Kontrolle. Am 6. und 7. Beobachtungstage nimmt die Reizwirkung wieder ab, bleibt aber mit 6% noch deutlich erkennbar.

10 r: Die Kurve hat annähernd gleiche Verlaufsform wie die 5 r-Kurve, liegt jedoch schon unter dem jeweiligen Kontrollwert für unbestrahlte Keimlinge. Während wir bei 5 r eine Reizung sahen, haben wir hier also eine Schädigung.
Am 1. Tag ist das Wachstum zwar praktisch noch gleich demjenigen der unbestrahlten Kontrollen. Schon am 2. Tage jedoch zeigt sich eine Schädigung von 5%. Am 3. und 4. Tage verbleibt sie auf diesem Werte. Vom 5. Tage an sehen wir wieder eine Abnahme der Schädigung, so daß am 7. Tage Ausgleich der Kontrolle erreicht ist.

20 r: Die Kurvenform ändert sich in dem Sinne, daß die S-Form mehr in die Form einer Hyperbelastes übergeht. Sie liegt nur unwesentlich unter den Werten für 10 r. Immerhin schon Schädigung von 2% am 1. Tag. Dann eine Zunahme der Schädigung am 3. und 4. Tage auf 10%. Später nimmt die Schädigung wieder langsam ab und beträgt am 7. Beobachtungstage nur noch 3%.

50 r: Die Dosiswirkung von 50 r ist schon eine deutliche Schädigung. Sie beträgt am 1. Tag 9%, verstärkt sich noch bis zum 4. Tage und 5. Tage auf 28%, um abnehmend am 7. Tage nur noch 18% zu betragen.

100 r: Die Kurvenform hat sich wieder geändert: es zeigt sich ein deutliches Wiederansteigen der Werte für den letzten Beobachtungstag. Es ist dies wohl darauf zurückzuführen, daß sich eine biologische Regeneration verstärkt geltend macht. Wir finden am 1. Tag deutliche Schädigung von 20%. Bis zum 5. Tage verstärkt sich diese auf 51%. Sie nimmt dann leicht ab, um am 7. Tage noch 48% zu betragen.

150 r: Es zeigt sich ganz ähnliches Verhalten wie bei 100 r, jedoch ist der Schädigungsgrad größer. Er beträgt schon am

1. Tag ca. 30%. Am 5. und 6. Tage ist die Schädigung maximal mit 74%. Sie nimmt dann ab und ist am letzten Beobachtungstage noch 68%.

Wenn wir diese erste Versuchsreihe überblicken, so können wir folgendes herauslesen:

a) Die Dosiswirkung von 5 r ist sichere Reizung.

b) Dosen von 10 und 20 r bewirken eine leichte Schädigung.

c) Bei Dosen von 50 r deutliche Schädigung, in verstärktem Maße bei 100 und 150 r.

Uebersicht über die Resultate der II. Versuchsreihe

8 Bestrahlungen von je 12 Bohnen mit 5, 10, 20, 50, 100, 150 r
plus 8 mal 12 unbestrahlte Kontrollen
Intensität: 45 r/min.

Tabelle II

Eingetragen ist das tägliche durchschnittl. Wurzelwachstum

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
K	17,1 ±0,27	16,2 ±0,17	15,9 ±0,21	15,6 ±0,13	15,0 ±0,15	13,9 ±0,29	12,8 ±0,21
5 r	18,5 ±0,25	16,4 ±0,28	15,4 ±0,26	15,5 ±0,26	15,1 ±0,21	14,6 ±0,35	13,1 ±0,21
10 r	17,3 ±0,20	15,8 ±0,24	14,9 ±0,21	14,8 ±0,14	14,5 ±0,19	13,8 ±0,22	12,8 ±0,27
20 r	17,0 ±0,31	15,0 ±0,13	14,6 ±0,12	14,2 ±0.28	13,8 ±0,24	13,1 ±0,28	12,5 ±0,24
50 r	15,3 ±0,26	13,2 ±0,17	12,2 ±0,29	11,5 ±0,31	11,2 ±0,15	11,3 ±0,24	11,4 ±0,23
100 r	14,4 ±0,14	11,3 ±0,18	8,4 ±0,11	6,9 ±0,11	5,4 ±0,15	5,1 ±0,18	5,5 ±0,15
150 r	13,6 ±0,14	9,5 ±0,11	5,4 ±0,10	4,0 ±0,07	3,2 ±0,08	3,2 ±0,11	3,5 ±0,15

Graphische Darstellung s. Kurve II.

II.

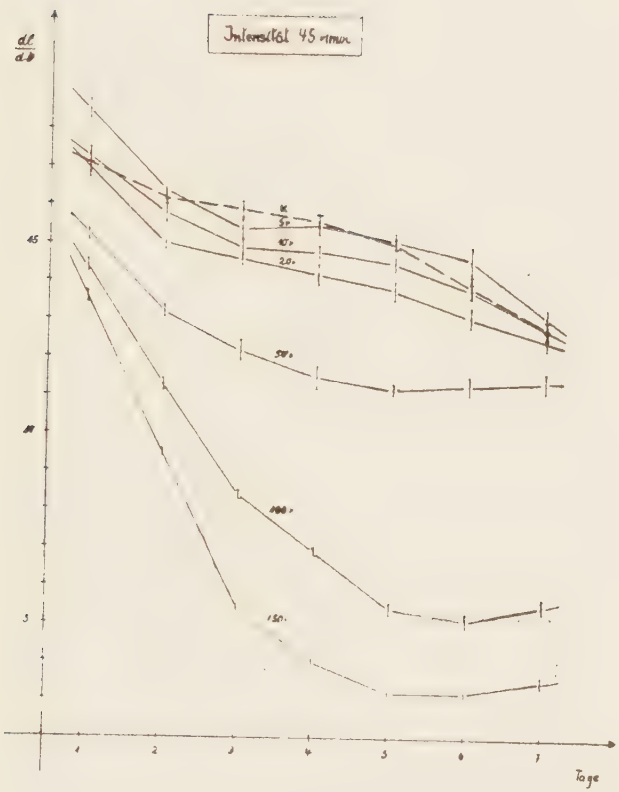


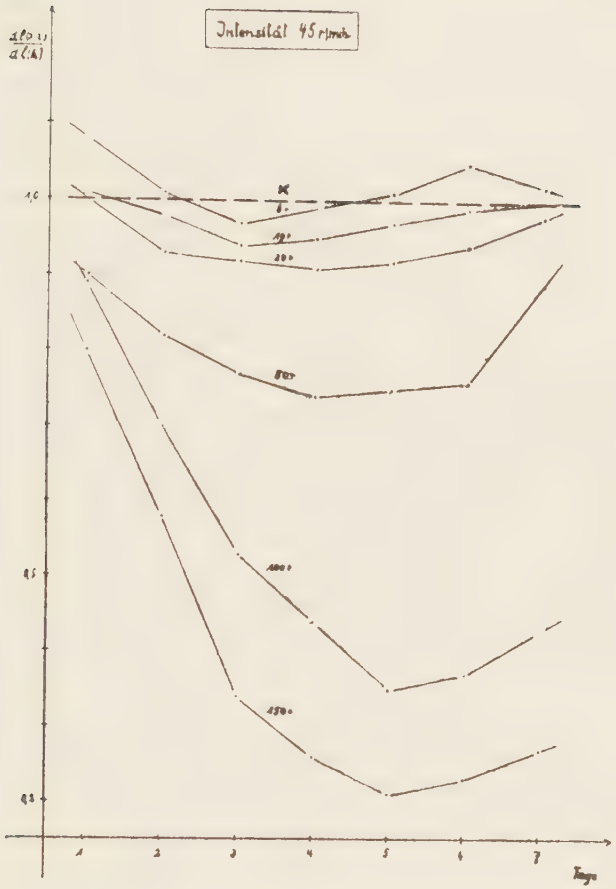
Tabelle IIa

Eingetragen ist das Verhältnis des Tageswachstums bestrahlter Bohnen zu unbestrahlten Kontrollen.
(dh. Kontrollen = 1,00)

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5 r	1,08	1,01	0,97	0,99	1,01	1,05	1,02
10 r	1,01	0,98	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00
20 r	1,00	0,93	0,92	0,91	0,92	0,94	0,98
50 r	0,90	0,82	0,77	0,74	0,75	0,76	0,89
100 r	0,89	0,70	0,53	0,44	0,35	0,37	0,43
150 r	0,80	0,58	0,34	0,26	0,21	0,23	0,27

Graphische Darstellung s. Kurve IIa.

IIa.



V. Diskussion der Resultate der II. Serie
45 r/min.

5 r: Die Kurve zeigt (etwas ausgesprochener als bei der I. Serie) die Form eines liegenden S.
Am 1. Tag haben wir eine deutliche Reizung von 8%. Sie nimmt jedoch stark ab, so daß sie schon am 2. Tage ungefähr auf den Kontrollwert gesunken ist. Am 3. Tage besteht sogar eine Schädigung. Sie beträgt freilich nur 3%. Es setzt dann erneut Reizwirkung ein, die am 6. Beobachtungstage zum zweitenmal kumuliert mit 5%.
Die Unterschneidung der 5-r Kurve mit der Kontrollkurve liegt praktisch noch innerhalb der errechneten Fehlergrenze. Jedoch dürfte man daraus dennoch auf eine biologische Reaktion schließen: nach dem anfänglich starken Reizwachstum ist die Pflanze erschöpft und bleibt vorübergehend hinter der Kontrollpflanze zurück. In dem zweiten verstärkten Wachstum äußert sich erneut die anfängliche Reizung.

10 r: Die Kurve verläuft ähnlich derjenigen bei 10 r mit Intensität 2 r/min: liegt im großen und ganzen knapp unter dem Kontrollwert. Die maximale Schädigung zeigt sich am 3. Tage mit 6%. Am letzten Versuchstag besteht völliger Ausgleich mit der Kontrolle.

20 r: Auch hier Anlehnung an den Effekt von 20 r bei der Intensität 2 r/min. Zu Beginn und am Ende der Beobachtung annähernd gleiches Wachstum wie Kontrollen; dazwischen jedoch eine vorübergehende Schädigung, mit einem Maximum von 9% am 4. Tage.

50 r: Ebenso wie bei 10 und 20 r zeigt sich auch hier große Aehnlichkeit in der Kurvencharakteristik bei beiden Intensitäten. Die anfängliche Schädigung von ca. 10% verstärkt sich bis zum 4. Tage auf 26%, um dann gegen den 7. Tag wieder abzunehmen. (11%.)

100 und 150 r: Am ersten Tag bei beiden Dosen eine deutliche Schädigung. Sie verstärkt sich noch im Laufe der Beobachtung und erreicht für 150 r am 5. Tage das Maximum von 79%, nimmt auch hier dann wieder ab und beträgt am 7. Tage für 150 r noch 73%.

Im gesamten zeigt sich also bei der Serie II mit 45 r/min. folgendes:

a) Reizung für die Dosis 5 r.
b) Beginnende Schädigung für Dosen von 10 und 20 r.
c) Sichere Schädigung für Dosen von 50, 100, 150 r, zunehmend mit der Dosis.

Eine grundsätzlich andersartige Dosiswirkung ist also bei der Intensität 45 r/min. nicht zu sehen gegenüber der Dosiswirkung

bei der Intensität 2 r min. Auf graduelle, quantitative Unterschiede wird im folgenden eingegangen:

Obschon zwischen Dosiswirkungen für gleiche Dosen bei verschiedener Intensität von 2 r min. bezw. 45 r/min. keine charakteristischen, qualitativen Unterschiede gefunden wurden, so zeigen sich doch gewisse Abweichungen in quantitativer Hinsicht, besonders für die größeren angewendeten Dosen, kaum wesentlich dagegen für die kleinen r-Werte. Die Reizung bezw. die Schädigung ist hier bei beiden Intensitäten annähernd gleich, vielleicht minim ausgeprägter für die größere Intensität. Bei Betrachtung der 100- und 150 r-Dosen sieht man jedoch deutlich eine größere Dosiswirkung für die größere Intensität. So beträgt z. B. bei der Dosis von 100 r am 4. Tage die Schädigung

51% bei der Intensität 2 r/min., hingegen
56% bei der Intensität 45 r/min.

und am 5. Tage:

51% bei der Intensität 2 r/min., hingegen
65% bei der Intensität 45 r/min.

Um die Beziehung zweier Dosiswirkungen be igleicher r-Zahl aber verschiedener Intensität, zueinander kurz und eindeutig zu umschreiben, bedienen wir uns des sogenannten Zeitfaktors. Als Zeitfaktor bezeichnen wir den Quotienten aus der biologischen Wirkung bei zwei gleichen Dosenwerten mit verschiedener Intensität. Im Zähler steht dabei die Dosiswirkung für große Intensität, im Nenner diejenige für kleine Intensität.

Er gibt an, wieviel mal kleiner die Wirkung einer Strahlenmenge ist, bei Verabfolgung mit kleiner Intensität während langer Bestrahlungsdauer, gegenüber der Wirkung der gleichen r-Menge, mit großer Intensität in kurzer Zeit gegeben.

Im folgenden ist pro Tag errechnet und zusammengestellt, das Verhältnis des relativen Wurzelwachstums großer Intensitäten zum relativen Wurzelwachstum kleiner Intensitäten, gemäß der gefundenen Zahlenwerte, die in den Tabellen IIa und Ia niedergelegt sind.

Tabelle über den Zeitfaktor

	5 r	20 r	100 r	150 r
1. Tag	1,03	1,02	1,11	1,13
2. Tag	0,96	1,00	1,04	1,01
3. Tag	0,92	1,02	0,91	0,81
4. Tag	0,92	1,01	0,90	0,84
5. Tag	0,93	1,01	0,71	0,81
6. Tag	0,97	1,01	0,74	0,89
7. Tag	0,95	1.01	0,83	0,85

Aus obiger Tabelle ist ersichtlich, daß der Zeitfaktor für die verwendeten Intensitäten bei Dosen von 5 r und 20 r ungefähr 1,0 beträgt, daß er jedoch für größere Dosen (100- und 150 r) kleiner ist als 1. Es ist vielleicht noch von Interesse festzustellen, daß dieser Wert ~ 1 selber mit vorrückendem Beobachtungstag kleiner wird.

Uebersicht über die Versuche mit Var. Windsor

8 Bestrahlungen von je 12 Bohnen mit 5, 10, 20 r plus
8 mal 12 unbestrahlte Kontrollen.
Intensität: 2 r/min.

Tabelle III

Tägliches durchschnittliches Wurzelwachstum

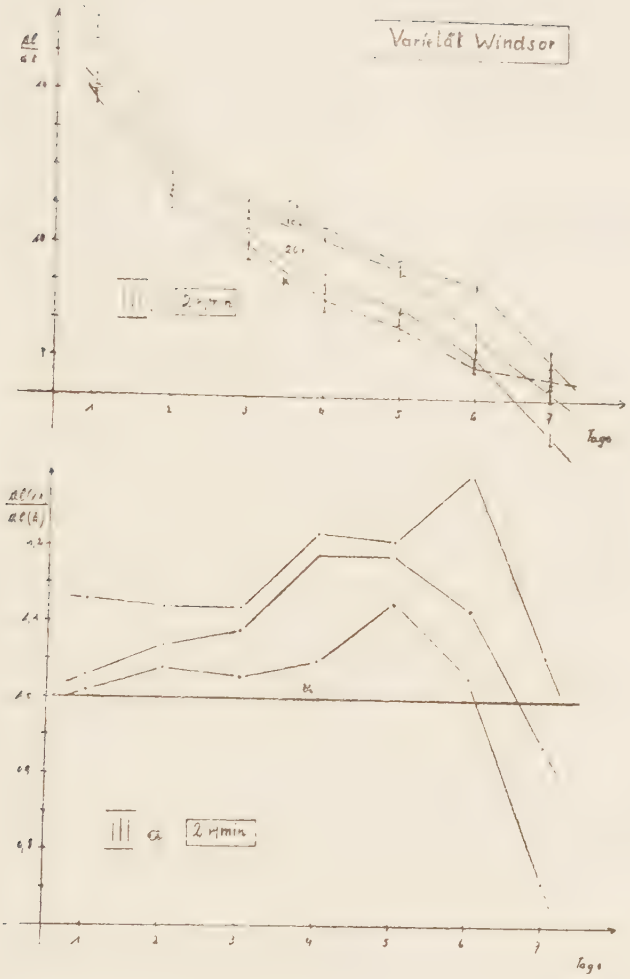
	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
K	13,8 ±0,34	11,2 ±0,31	10,0 ±0,40	8,6 ±0,36	7,9 ±0,28	6,9 ±0,22	6,6 ±0,31
5 r	15,6 ±0,30	12,5 ±0,16	11,2 ±0,34	10,5 ±0,35	9,6 ±0,31	9,0 ±0,24	7,0 ±0,37
10 r	14,2 ±0,20	12,0 ±0,21	10,9 ±0,28	10,2 ±0,28	9,4 ±0,24	7,7 ±0,34	6,2 ±0,23
20 r	13,9 ±0.24	11,6 ±0,21	10,3 ±0,28	9,0 ±0,27	8,4 ±0,16	7,1 ±0,25	5,0 ±0,17

Tabelle IIIa

Verhältnis bestrahlter Bohnen zu unbestrahlten Kontrollen.

	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5 r	1,13	1,12	1,12	1,22	1,21	1,30	1,06
10 r	1,03	1,07	1,09	1,19	1,19	1,12	0,94
20 r	1,01	1,04	1,03	1,05	1,13	1,03	0,76

Graphische Darstellungen s. Kurven III und IIIa.


Variété Windsor
III 2 mm
III a 2 mm

Beeinflussung des Seitenwurzelwachstums

Die Keimlinge zeigten zu Beginn der Versuche noch keine Seitenwurzeln. Diese traten bei bestrahlten und bei unbestrahlten Pflänzchen nicht vor dem 5. Tage auf.

Wenn die Seitenwurzelzahl der unbestrahlten Kontrollpflanzen als = 100% angenommen wird, so ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle IV

Intensität 2 r/min.

	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5 r	168%	132%	107%
10 r	58%	81%	56%
20 r	16%	36%	43%
50 r	—	—	—
100 r	—	—	—
150 r	—	—	—

Tabelle IVa

Intensität 45 r/min.

	5. Tag	6. Tag	7. Tag
5 r	123%	132%	116%
10 r	51%	100%	105%
20 r	12%	84%	89%
50 r	10%	35%	55%
100 r	—	—	—
150 r	—	—	—

VI. Diskussion der Resultate der III. Serie

Wenn in den Serien I und II die Varietät Sevilla bestrahlt wurde, so zeigt Serie III den Bestrahlungseffekt bei Varietät Windsor Gruen. Es findet sich hier Reizung sowohl bei 5 r als auch bei 10- und 20 r (abgesehen vom 7. Tag wo bei 10- und 20 r eine Schädigung vorliegt). Die Reizung ist bei 5 r am größten, bei 10 r weniger deutlich, und die 20 r-Kurve liegt nur wenig über der Kurve der Kontrollpflanzen. Das Maximum der Reizung zeigt sich am 6. Tag (5 r) bezw. am 5. Tag (10 r und 20 r).

VII. Diskussion der Resultate betr. Seitenwurzeln

Bei der Varietät Windsor wurden die Seitenwurzeln nicht ausgezählt. Für Varietät Sevilla ergibt sich: Seitenwurzeln treten bei bestrahlten sowie auch bei unbestrahlten Pflänzchen nicht vor dem 5. Tag auf.

a) **Bei Intensität von 2 r/min. findet man:**

Bei 5 r eine starke Vermehrung der Anzahl
Bei 10 r eine deutliche Verminderung der Anzahl
Bei 20 r noch deutlichere Herabsetzung
Bei 50 r sprossen keine Seitenwurzeln mehr.

Die Vermehrung bezw. Verminderung der Anzahl Seitenwurzeln, ist besonders ausgeprägt am ersten Erscheinungstage der Seitenwurzeln, also am 5. Beobachtungstag. %-Zahlen sind aus der Tabelle ersichtlich.

b) **Bei Intensitäten von 45 r/min.:** ähnlich wie oben für
5 r deutliche Vermehrung der Anzahl
10 r am ersten Stichtag Verminderung der Anzahl, später Ausgleich, so gar leichte Vermehrung
20 und 50 r Verminderung der Anzahl und zwar steigend, mit steigender Dosis.
Das Maximum der Vermehrung bezw. der Verminderung wird am ersten Erscheinungstage erreicht. Bemerkenswert ist, daß bei 45 r/min. die Dosis von 50 r noch Seitenwurzeln sprossen läßt, während bei 50 r mit 2 r/min. keine Seitenwurzeln beobachtet werden.

VIII. Zusammenfassung

a) Vicia faba equina erweist sich als geeignetes Testobjekt für strahlenbiologische Versuche. Verwendet wurden Keimlinge mit einer Wurzellänge von 15—30 mm.

b) Es wurden mit zwei verschiedenen Intensitäten gleiche r-Dosen auf Keimlinge von Vicia faba equina appliziert, also der Zeitfaktor untersucht. Verwendet wurden weiche Strahlen 85 KV ohne Filter.

Es ergab sich dabei:

1. Bei beiden Intensitäten zeigten Dosen von 5 r eine Reizung, wobei jedoch die Reizung bei der Intensität 2 r/min. scheinbar deutlicher war als bei der Intensität 45 r/min. Hier war zwar die Reizung anfänglich stärker, sank dann aber vorübergehend unter den Kontrollwert, um dann erneut in Reizung überzugehen. Dieses vielleicht etwas merkwürdige Verhalten könnte als ein biologischer Regenerationsvorgang gedeutet werden. Der Zeitfaktor ist minim kleiner als 1,0.
2. Bei 10 r und steigender Dosis steigende Schädigung mit steigender Dosis. Die 10 r, 20 r, 50 r-Dosiswirkung ist bei beiden Intensitäten angenähert gleich; d. h. der Zeitfaktor ist = 1,0.
3. Für Dosen von 100 r und 150 r zeigte sich deutlich ausgesprochene Schädigung. Diese war bei der Intensität von 45 r min. größer als bei der Intensität 2 r/min., also der Zeitfaktor kleiner als 1.
4. Reizung und Schädigung treten im großen und ganzen schon am ersten Tage nach der Bestrahlung auf, also mit kurzer Latenz. Die genannten Dosiswirkungen verstärken sich aber langsam noch bis zum 4. bis 5. Tag.
5. Sowohl die Reizung als auch die Schädigung nehmen am 7. Tage in ihrer Ausprägung ab; es scheint sich also die Pflanze von dem Strahleninsult zu erholen.
6. Bei Bestrahlung der Varietät Windsor zeigt sich überraschend für 10 r und 20 r (Intensität 2 r min.) noch eine Reizung, während bei Varietät Sevilla Schädigung resultiert. Wir möchten darauf jedoch nicht zuviel Gewicht legen, da die Versuche in dieser Hinsicht keine angemessene Ausdehnung aufweisen. Es soll also der Einfluß der verschiedenen Varietät nicht festgestellt sein; es könnte dies Aufgabe einer neuen Versuchsreihe sein.
   A. Salzmann (7) fand übrigens bei seinen Versuchen auch mit der Varietät Sevilla bis 25 r eine Reizung, jedoch muß hier berücksichtigt werden, daß seinen Arbeiten andere Versuchsbedingungen (im Sinne härterer Strahlen) zu Grunde lagen (200 KV, 8 mA, 1,0 mm Cu). Es stände eine Verknüpfung hiermit im Uebereinklang mit den Feststellungen, die R. Glocker, E. Hayer, O. Jüngling machten bei Versuchen mit zwei verschiedenen Härtegraden (5). Es wurde dort nachgewiesen, daß weiche Strahlen im Sinne einer Schädigung eine stärkere biologische Wirkung zeigen.
7. Die Seitenwurzelbildung wurde im gleichen Sinne beeinflußt wie die Hauptwurzel. Reizung für kleine Dosen (5 r), Schädigung für größere Dosen (20 r) und Unterdrückung der Seitenwurzel bei 100 r und 150 r.

Literatur:

1. Holthusen H. und R. Braun: Grundlagen der Röntgenstrahlendosierung. Leipzig 1933.
2. Liechti Ad.: Ueber den Zeitfaktor der biologischen Strahlenwirkung. Str. Th. 33 1929 I.
3. Liechti Ad., W. Minder, I. H. Müller: Str. TH. 63 1938 684
4. Glocker R., A. Reuß: Ueber die Wirkung von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge auf biologische Objekte. (Str. Th. 46 1933 137.)
5. Glocker R., Hayer F., Jüngling O.: Ueber die biologische Wirkung verschiedener Röntgenstrahlenqualitäten bei Dosierung in r-Einheiten (Str. Th. 32 1929 I.)
6. Iven H.: Neuere Untersuchungen über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Pflanzen (Str. Th. 19 1925 431).
7. Salzmann A.: Diss. 1941, Bern.
8. Arnold J.: Diss. 1941, Bern.